

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 630 786 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 93109953.5

(51) Int. Cl.<sup>5</sup>: B60T 8/00, G01N 19/02

(22) Anmeldetag: 22.06.93

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
28.12.94 Patentblatt 94/52

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH DE DK ES FR GB GR IE IT LI LU MC  
NL PT SE

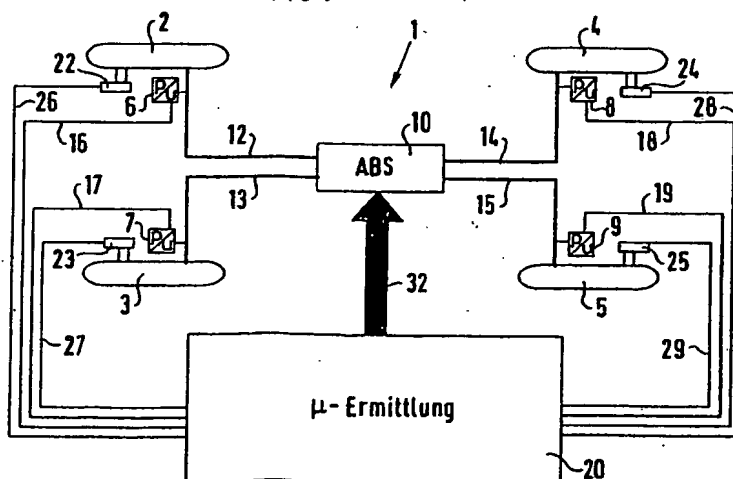
(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**  
Wittelsbacherplatz 2  
D-80333 München (DE)

(72) Erfinder: Klencke, Uwe, Prof.Dr.  
Riesengebirgstrasse 44  
D-8400 Regensburg (DE)  
Erfinder: Daiss, Armin, Dipl.-Ing.  
Hardtstrasse 64  
D-76185 Karlsruhe (DE)  
Erfinder: Probst, Gregor, Dipl.-Ing.  
Dreissesselstrasse 15  
D-8300 Landshut (DE)

(54) Verfahren und Schaltungsanordnung zum Ermitteln des Reibwerts.

(57) Zum Ermitteln des Reibwerts zwischen einem Kraftfahrzeugreifen und der Oberfläche einer Fahrbahn mit einer Schaltungsanordnung (1) werden die Fahrzeuggeschwindigkeit, die Drehgeschwindigkeit eines Rades (2-5) und der Radbremsdruck (p) laufend gemessen. Aus der Drehgeschwindigkeit wird die Winkelbeschleunigung des Rades berechnet und aus der Winkelbeschleunigung und dem Bremsdruck wird der Reibwert ( $\mu$ ) mit einem rekursiven Schätzalgorithmus radselektiv ermittelt. Zweckmäßig ist es, einen Schätzalgorithmus nach der Methode der kleinsten Quadrate zu verwenden. Der als Funktion des Radschlupfes ermittelte Reibwert dient zum genaueren Regeln eines Antiblockiersystems (10) oder eines Schlupfregelsystems.

FIG 1



EP 0 630 786 A1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung nach dem Oberbegriff der Ansprüche 1 bzw. 7. Sie dient zum Ermitteln des Reibwerts zwischen einem Kraftfahrzeugreifen und der Oberfläche einer Fahrbahn. Bei genauer Kenntnis dieses Reibwerts können Antiblockiersysteme besonders präzise geregelt werden. Auch für Antischlupfregel-, Vierradlenk-, Fahrerinformations- und Schlechtwegerkennungs-systeme kann die genaue Kenntnis des Reibwerts nützlich sein.

Bei einem bekannten Reibwertermittlungs-System erfassen Sensoren den Lenkwinkel, das Lenkmoment und die Fahrzeuggeschwindigkeit. Ein Prozessor verarbeitet die drei Sensorsignale und liest aus einer Tabelle einen Reibwert aus, der den drei Signalen zugeordnet ist (EP 0 323 066 B1). Das Lenkmoment zu messen ist aufwendig, außerdem hängt der Reibwert auch von anderen Größen als den durch die drei Sensoren gemessenen Fahrparametern ab.

Bei einer weiteren bekannten Vorrichtung wird der von der Fahrzeugquerdynamik abhängige Reibwert mit einer Formel berechnet, die von einem Kräftegleichgewicht an den Rädern abgeleitet wird. Dazu werden die Signale von Sensoren für die Seitenbeschleunigung, den Lenkwinkel der Vorder- und der Hinterräder und der Fahrzeuggeschwindigkeit und der Inhalt eines Speichers für Stabilitätsfaktoren, wie die Fahrzeugmasse, die Abstände zwischen dem Schwerpunkt und der Vorder- sowie der Hinterachse, die Kurvenkräfte auf die Vorder- und die Hinterräder und das Giermoment ausgewertet (EP 0 312 096 B1). Auch hier ist der Aufwand, insbesondere für die Sensoren, recht hoch und es ist nicht vorgesehen, den berechneten Reibwert für eine Antiblockierregelung zu verwenden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den veränderlichen Reibwert zwischen dem Kraftfahrzeugreifen und der Fahrbahn mit geringem Aufwand möglichst genau zu bestimmen. Der Reibwert soll eine verbesserte Radbrems- und Radschlupfregelung ermöglichen.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das Verfahren nach Anspruch 1 und die Schaltungsanordnung nach Anspruch 7 gelöst. Zweckmäßige Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen niedergelegt.

Die Vorteile der Erfindung liegen unter anderem darin, daß der Reibwert mit bewährten und effektiven Schätzalgorithmen ermittelt wird, die hier so ausgestaltet sind, daß sich der Rechenaufwand und der Speicherbedarf in Grenzen halten.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im folgenden anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 ein Kraftfahrzeug mit einem Antiblockiersystem, das mit einer erfindungsgemäßen Reibwertermittlungssystem versehen ist, in schematischer Darstellung,
- Figur 2 eine Diagrammdarstellung der Reibwerte verschiedener Straßenbelege in Abhängigkeit von dem Schlupf,
- Figur 3 ein Ein-Rad-Modell für die erfindungsgemäße Reibwertermittlung,
- Figur 4 den zeitlichen Verlauf eines erfindungsgemäß ermittelten Reibwerts, und
- Figur 5 eine dreidimensionale Darstellung einer erfindungsgemäß ermittelten Reibcharakteristik in Abhängigkeit von der Zeit und dem Schlupf.

Ein nur schematisch angedeutetes Kraftfahrzeug 1 (Figur 1) weist zwei Vorderräder 2 und 3 sowie zwei Hinterräder 4 und 5 auf. Diese Räder sind mit (z.B. an den Radbremszylindern oder an den Bremsleitungen angeordneten) Bremsdrucksensoren 6 bis 9 versehen, die von dem Hydraulikblock 10 eines Antiblockier-

Steuergeräts (ABS) über Hydraulikleitungen 12 bis 15 mit geregelter Druck versorgt werden.

Die Bremsdrucksensoren 6 bis 9 setzen den an dem jeweiligen Rad herrschenden Bremsdruck  $p$  in ein elektrisches Spannungssignal  $u$  um. Die Spannungssignale  $u$  gelangen über Signalleitungen 16 bis 19 zu einer elektronischen Auswerteschaltung 20 und werden dort in noch zu beschreibender Weise ausgewertet. Die Auswerteschaltung 20 ist Bestandteil eines - hier nicht getrennt dargestellten - Antiblockiersystem-Steuergeräts, das den Bremsdruck für die einzelnen Räder getrennt regelt (möglich ist es auch, jedes Vorderrad mit einem getrennt geregelten Bremsdruck und die beiden Hinterräder mit einem weiteren geregelten gemeinsamen Bremsdruck zu versorgen).

An den Rädern 2 bis 5 angeordnete Drehzahlsensoren 22 bis 25 liefern über Leitungen 26 bis 29 elektrische Signale, die der jeweiligen Raddrehzahl proportional sind, an die Auswerteschaltung 20. Aus diesen Raddrehzahl-Signalen werden die Winkelbeschleunigung  $\dot{\omega}$  der Räder, die Geschwindigkeit  $\dot{x}_A$  des Kraftfahrzeuges und der Radschlupf  $s$  berechnet. Einzelheiten der in der Auswerteschaltung 20 durchgeführten Auswertungen werden nachfolgend beschrieben.

Basierend auf diesen Auswertungen werden durch die Auswerteschaltung 20 Ausgangssignale erzeugt, die über einen Bus 32 dem Ventilblock 10 zugeführt werden. Dieser führt daraufhin den einzelnen Räder 2 bis 5 den Bremsdruck derart zu, daß die Bremskräfte radselektiv äußerst effektiv von den Räder auf die Fahrbahn übertragen werden und dabei das Kraftfahrzeug stabil bleibt oder gegebenenfalls stabilisiert wird und seine Lenkfähigkeit erhalten bleibt.

Die Antriebs- und Bremskräfte eines Kraftfahrzeugs werden durch die Reibkraft  $F_R$  zwischen der Reifenumfangsfläche eines Rades und der Oberfläche der Fahrbahn übertragen. Die Reibkraft wird radselektiv, auch von der auf das einzelne Rad einwirkenden Last abhängig übertragen. Sie läßt sich wie folgt berechnen:

$$F_R = \mu \cdot F_Z \quad (1)$$

Hierin ist  $F_Z$  die senkrecht auf die Fahrbahn wirkende Kraft, die dem Anteil der Fahrzeugmasse entspricht, die von einem Rad getragen wird.  $\mu$  ist der Reibwert oder Reibungskoeffizient, der im wesentlichen von dem Material, der Struktur und dem Zustand der Fahrbahn abhängt. Er variiert in einem weiten Bereich, z.B. zwischen einer trockenen Asphaltfahrbahn und einer nässenden Eisschicht auf der Fahrbahn. Er wird hier auch radselektiv, d.h. für jedes Rad getrennt, ermittelt, da sich zum einen die Räder eines Kraftfahrzeugs bekanntlich auf Fahrbahnstellen mit sehr unterschiedlicher Haftfähigkeit befinden können und da zum anderen auch die Laufflächen der einzelnen Reifen einen unterschiedlichen Zustand aufweisen können.

Eine Reibkraft kann nur durch einen Radschlupf  $s$

$$s = 1 - \frac{\omega r_R}{\dot{x}_A} \quad (2)$$

aufgebaut werden, der als die relative Differenz zwischen der Fahrzeuggeschwindigkeit  $\dot{x}_A$  und der Raddrehgeschwindigkeit  $\omega$  mal dem Rollradius  $r_R$  des Rades definiert ist.

Messungen des Reibwerts  $\mu(s)$  als Funktion des Radschlupfes  $s$  für verschiedene Fahrbahnoberflächen sind aus der Literatur bekannt (Figur 2). Alle in diesem Diagramm dargestellten Kurven beginnen bei dem Punkt  $\mu = 0$  für  $s = 0$  und steigen dann bis zu ihrem jeweiligen Maximum an, das bei einem Radschlupf von etwa  $s = 0,005 \dots 0,25$  liegt. Danach nimmt der Reibwert  $\mu$  ab, wobei ein Übergang von der für die Kraftübertragung wesentlichen Haftreibung zu der Gleitreibung erfolgt.

Mit einem Antiblockiersystem wird der Bremsweg eines Kraftfahrzeugs verkürzt und gleichzeitig seine Lenkfähigkeit erhalten. Dazu wird die Drehgeschwindigkeit  $\omega$  der einzelnen Räder gemessen und durch Differenzieren die Winkelbeschleunigung oder -verzögerung des Rades  $\dot{\omega}$  berechnet. Mit zunehmenden Bremsdruck  $p$  nimmt der Radschlupf  $s$  zu und es wird das Maximum des Reibwerts  $\mu(s)$  überschritten. Nach dem Maximum ändert sich das Vorzeichen der Steigung der Reibwertkurve, und das führt zu einer Instabilität der ABS-Regelschleife. Ein beginnendes Blockieren des Rades kann aus einem starken Ansteigen der Radverzögerung erkannt werden. Ein starkes Ansteigen der Radverzögerungssignale bewirkt, daß das ABS-Steuergerät den Bremsdruck  $p$  verringert. Wenn daraufhin die Radverzögerung wieder abnimmt, erhöht das Steuergerät wieder den Bremsdruck. Die sich dabei ergebenden zyklischen Änderungen des Bremsdruckes bewirken, daß der Reibwert im Bereich seines Maximums gehalten wird, womit kurze Bremswege erreicht werden.

Andererseits nehmen die seitlichen Führungskräfte an dem Reifen mit zunehmendem Radschlupf ab, wodurch die Lenkbarkeit verringert wird. Deshalb wird als zusätzliche Bedingung der Radschlupf auf einen Maximalwert von etwa  $s \leq 0,25$  beschränkt. Bekannte Antiblockiersysteme sind nach Erfahrungswerten ausgelegt. Die hier beschriebene Ermittlung der Reibcharakteristik  $\mu = \mu(s)$ , d.h. der Abhängigkeit des Reibwertes von dem Radschlupf, ermöglicht es, da sie in Echtzeit durchgeführt werden kann, die Antiblockierregelung zu systematisieren.

Die Ermittlung oder Schätzung des Reibwerts basiert auf einem Ein-Rad-Modell, das aus Figur 3 ersichtlich ist. Zusätzlich zu den bereits erwähnten Größen sind in dieser Figur noch dargestellt: der Anteil  $m_A$  der Fahrzeugmasse, der von diesem einen Rad getragen wird, das Massenträgheitsmoment  $\theta_R$  des Rades, das Bremsradius  $r_B$  und die Bremskraft  $F_B$ .

Die Reibkraft  $F_R$  verzögert die Fahrzeuggeschwindigkeit wie folgt:

$$-m_A \ddot{x}_A = F_R \quad (3)$$

wobei die Differenz zwischen dem Brems- und dem Reibungsmoment die Raddrehung wie folgt verzögert:

$$\theta_R \dot{\omega}_R = F_B \cdot r_B - F_R \cdot r_R \quad (4)$$

Die Reibkraft ergibt sich aus:

$$F_R = \mu(s)F_z = \mu(s) \cdot m_A \cdot g \quad (5)$$

- 5 Mit einem Reibwert  $\mu_B$  an der Bremsscheibe oder -backe kann die Bremskraft wie folgt ausgedrückt werden:

$$F_B = \mu_B \cdot p_B \cdot A_B \quad (6)$$

- 10 worin  $p_B$  der Bremsdruck und  $A_B$  die wirksame Druckfläche des Bremsbelages auf der Bremsscheibe oder -trommel ist. Somit ergeben sich folgende Systemgleichungen für das Ein-Rad-Modell:

$$\begin{aligned} \ddot{x}_A(t) &= -g \cdot \mu(s(t)), \\ \dot{\omega}_R(t) &= \frac{m_A \cdot g \cdot r_R}{\Theta_R} \mu(s(t)) - \frac{\mu_B A_B r_B}{\Theta_R} p_B(t) \end{aligned} \quad (7)$$

- 20 Die Radgeschwindigkeiten werden üblicherweise durch aufeinanderfolgende induktive Abtastwerte gemessen. Die Zeitintervalle zwischen den Abtastwerten verändern sich mit der Drehgeschwindigkeit. Aus Vereinfachungsgründen wird hier eine konstante Abtastzeit  $T_A = 10$  ms gewählt. Damit ergibt sich folgende diskrete Beschreibung des Ein-Rad-Modells.

$$\frac{\omega_R(n) - \omega_R(n-1)}{T_A} + \frac{\mu_B A_B r_B}{\Theta_R} p_B(n) = \frac{m_A g r_R}{\Theta_R} \mu(n) \quad (8)$$

- 30 Die Raddrehgeschwindigkeit  $\omega_R(n)$  und der Bremsdruck  $p_B(n)$  werden laufend gemessen. Dabei ist  $n$  der Zählindex für die aufeinanderfolgenden Messungen. Der tatsächliche Reibwert  $\mu(n)$  wird mit einem rekursiven Schätzalgorithmus nach der Methode der kleinsten Quadrate - in der Literatur als RLS-Verfahren beschrieben - ermittelt. Mit einer Meßvariable  $y(n)$

$$y(n) = \frac{\omega_R(n) - \omega_R(n-1)}{T_A} + \frac{\mu_B A_B r_B}{\Theta_R} p_B(n) \quad (9)$$

- und einem Fahrzeugparameter  $X$

$$X = \frac{m_A g r_R}{\Theta_R} \quad (10)$$

- 45 ergibt sich folgender rekursiver Schätzalgorithmus:

$$\hat{\mu}(n) = \hat{\mu}(n-1) + k(n)(y(n) - X \hat{\mu}(n-1)) \quad (11)$$

- 50 mit einem Fehlerrückführungs-Verstärkungsfaktor  $k(n)$

$$k(n) = \frac{1}{1 + X^2 P(n-1)} X^* P(n-1) \quad (12)$$

- 55 worin die  $P(n-1)$  die Kovarianz des Schätzfehlers ist

$$P(n-1) = 10^q (\mu(n-1) - \hat{\mu}(n-1))^2 \quad (13)$$

Hier ist  $q$  eine vorgebbare Zahl ist, die z.B. die Werte  $q = 2, 3, \dots, 8$  annehmen kann.

Aus dem Diagramm von Figur 4 ist ersichtlich, daß der mit dem vorstehenden Algorithmus ermittelte Schätzwert  $\hat{\mu}$  des Reibwerts sehr gut einem vorgegebenen Reibwert  $\mu$  folgt, der etwa zu dem Zeitpunkt  $t = 1$  sec sprunghaft abnimmt, so wie es etwa dem Übergang von einer trockenen Asphaltfahrbahn auf eine vereiste Fahrbahn entspricht.

Für eine effektive ABS-Regelung ist die Kenntnis des Reibwerts als Funktion des Radschlupfes, d.h. der Reibcharakteristik erforderlich. In der Literatur ist für diese Abhängigkeit folgende Funktion vorgeschlagen worden.

$$\mu(s) = C_1 (1 - e^{c_2 s}) - c_3 s \quad (14)$$

15

Sie weist aber den gravierenden Nachteil auf, daß sie zu nichtlinearen Schätzalgorithmen führt. Hier wird deshalb eine Näherungsgleichung verwendet

$$\mu(s) = As + B\sqrt{s}, \quad (15)$$

20

die folgenden linearen Schätzalgorithmus ergibt:

$$\mu(n) = As(n) + B\sqrt{s(n)}, \quad (16),$$

25 worin A und B Parameter einer Kurve sind, mit welcher der zu ermittelte Reibwert approximiert wird. Sie werden von den als Vektor

$$\underline{b}^T = [AB]$$

30 dargestellten Kurvenparametern A und B, von den als Datenvektor

$$\underline{X}^T = [s\sqrt{s}]$$

dargestellten Meßwerten des Radschlupfes  $s$  und von dem wie weiter oben beschrieben ermittelten Reibwert  $\hat{\mu}(n)$  abgeleitet. Die Berechnung des Prädiktionswertes für die Reibcharakteristik wird mit nachfolgenden Gleichungen durchgeführt

$$\mu(n) = \underline{X}^T(n) \cdot \underline{b}(n)$$

40

$$\hat{\underline{b}}(n) = \underline{b}(n-1) + \underline{k}(n)(\mu(n) - \underline{X}^T(n)\hat{\underline{b}}(n-1))$$

$$\underline{k}(n) = P(n-1)\underline{X}(n)(1 + \underline{X}^T(n)P(n-1)\underline{X}(n))^{-1}$$

45 Ein Schätzwert  $\mu(n)$  für den Prädiktionszeitpunkt  $n$  wird aus den Meßergebnissen zu dem Zeitpunkt  $n-1$  ermittelt. Ein neuer Schätzwert

$$\hat{\underline{b}}(n)$$

50

zum Zeitpunkt  $n$  wird entsprechend aus dem Schätzwert zu dem Zeitpunkt  $n-1$  berechnet. Ein Vektor  $\underline{k}(n)$  zum Zeitpunkt  $n$  wird ebenfalls aus den Werten zum Zeitpunkt  $n-1$  berechnet. Dieser Vektor wird in der Literatur auch als Kalmanscher Verstärkungsfaktor bezeichnet. Die in ihm enthaltene Kovarianz-Matrix  $P(n-1)$  wird mit der Gleichung

55

$$P(n) = 10^q \cdot |\mu(n) - \underline{X}^T(n)\hat{\underline{b}}(n)|^2 \cdot I \quad (18)$$

berechnet, allerdings mit den Abtastwerten vom Zeitpunkt  $n-1$ . Sie hängt vom Schätzfehler ab.  $I$  ist hier die Einheitsmatrix.

Das hier zugrunde gelegte Modell gemäß Gleichung (15) führt - wie auch aus dem Diagramm von Figur 5 ersichtlich ist - zu guten Ergebnissen, wenn Einschränkungen für den Ort des Kurvenmaximums zugelassen werden. Die größeren Abweichungen nach dem Maximum können toleriert werden, da moderne Antiblockiersysteme in diesem Bereich nicht arbeiten.

Ein wahlweise hier verwendetes Modell der Reibcharakteristik

$$\mu(s) = \frac{s}{A + Bs + Cs^2} \quad (19)$$

verwendet drei Parameter A, B und C, die eine gute Approximation für den Reibwert über den ganzen Radschlupfbereich ergeben. Die Ausgangssteigung der Kurve  $\mu(s)$  ist

$$\dot{\mu}(0) = 1/A \quad (20)$$

und das Maximum des Reibwerts beträgt

$$\mu_{\max} = \mu(s_0) = \frac{\sqrt{A/C}}{(2A + B\sqrt{A/C})} \quad (21)$$

und zwar bei einem Wert  $s_0$  des Radschlupfes

$$s_0 = \sqrt{A/C} \quad (22)$$

Ein Modell der Reibcharakteristik nach einer Beziehung

$$y(s) = \frac{s}{\mu(s)} = A + Bs + Cs^2 \quad (23)$$

ergibt ebenfalls einen linearen Schätzalgorithmus.

Der beschriebene Schätzalgorithmus minimiert das Fehlerquadrat des Schätzfehlers. Vorteilhaft ist, daß alle bisherigen Meßwerte in die aktuelle Schätzung eingehen, womit für die Schätzung mehr Information zur Verfügung steht. Dadurch können Fehler der Radaufstandskraftschätzung besser als mit bekannten Verfahren kompensiert werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln des Reibwerts zwischen einem Kraftfahrzeugreifen und der Oberfläche einer Fahrbahn, bei dem die Fahrzeuggeschwindigkeit und ein weiterer Fahrparameter gemessen und aus diesen Meßwerten der Reibwert abgeleitet wird,

**dadurch gekennzeichnet,**

- daß die Drehgeschwindigkeit eines Rades und der Bremsdruck des Kraftfahrzeugs laufend gemessen werden,
- daß aus der Drehgeschwindigkeit die Winkelbeschleunigung des Rades berechnet wird,
- und daß aus der Winkelbeschleunigung und dem Bremsdruck der Reibwert ( $\mu$ ) mit einem rekursiven Schätzalgorithmus ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Reibwert ( $\mu$ ) mit einem rekursiven Schätzalgorithmus nach der Methode der kleinsten Quadrate (RLS-Verfahren) radselektiv ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Reibwert ( $\mu$ ) mit folgendem rekursiven Schätzalgorithmus ermittelt wird:

$$\hat{\mu}(n) = \hat{\mu}(n-1) + k(n)(y(n) - X^T \hat{\mu}(n-1)), \text{ worin}$$

$$y(n) = \frac{\omega_R(n) - \omega_R(n-1)}{T_A} + \frac{\mu_B A_B r_B}{\Theta_R} p_B(n)$$

5 eine aus den Meßwerten gebildete Variable,

$$X = \frac{m_A g r_R}{\Theta_R}$$

10

ein Fahrzeugparameter,

$$k(n) = \frac{1}{1 + X^2 P(n-1)} X * P(n-1)$$

15

ein Verstärkungsfaktor für die Fehlerrückführung und

$P(n-1) = 10^q (y(n-1) - \hat{\mu}(n-1))^2$  die Kovarianz des Schätzfehlers zum Meßzeitpunkt  $n-1$  sind.

- 20 4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Reibwert ( $\mu(s)$ ) als eine Funktion des Radschlupfes ( $s$ ) mit einem rekursiven Schätzalgorithmus ermittelt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Reibwert auf der Grundlage eines Modells  $\mu(s) = As + B\sqrt{s}$  ermittelt wird, worin A und B Kurvenparameter mit der Vektordarstellung

25

$$\underline{b}^T = [AB]$$

sind, die aus den gemessenen Radschlupfwerten mit der Vektordarstellung

30

$$\underline{X}^T = [s\sqrt{s}]$$

35 und aus dem ermittelten Reibwert  $\mu(n-1)$  berechnet werden, und daß ein neuer Reibwert  $\mu(n)$  mit folgendem Schätzalgorithmus ermittelt wird:

$\mu(n) = \underline{X}^T(n) * \underline{b}(n)$ , worin

40

$$\hat{\underline{b}}(n) = \underline{b}(n-1) + \underline{k}(n-1)(\mu(n) - \underline{X}^T(n)\hat{\underline{b}}(n-1))$$

$\underline{k}(n) = P(n-1)\underline{X}(n)(1 + \underline{X}^T(n)P(n-1)\underline{X}(n))^{-1}$  und

45

$$P(n-1) = 10^q * |\mu(n-1) - \underline{X}^T(n-1)\hat{\underline{b}}(n-1)|^2 * I \text{ sind.}$$

- 50 6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Reibwert ( $\mu(s)$ ) auf der Grundlage eines Modells

$$\mu(s) = \frac{s}{A + Bs + Cs^2}$$

55

ermittelt wird,

7. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der ermittelte Reibwert ( $\mu$ ) zum Steuern eines Antiblockiersystems (ABS) oder eines Schlupfregelsystems verwendet wird.
8. Schaltungsanordnung zum Ermitteln des Reibwerts zwischen einem Kraftfahrzeugreifen und der Oberfläche einer Fahrbahn gemäß einem Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, die versehen ist mit Sensoren (24), durch welche die Fahrzeuggeschwindigkeit und ein weiterer Fahrparameter erfaßt werden, sowie mit einer Auswerteschaltung (20), durch welche die Sensorsignale ausgewertet und aus ihnen der Reibwert berechnet wird, **dadurch gekennzeichnet,**
  - daß durch die Sensoren (24) die Drehgeschwindigkeit eines Rades (2-5) und der Bremsdruck ( $p$ ) an einem Rad laufend gemessen werden, und
  - daß durch die Auswerteschaltung (20)
    - aus der Drehgeschwindigkeit die Winkelbeschleunigung des Rades (2-5) berechnet und
    - aus der Winkelbeschleunigung und dem Bremsdruck der Reibwert ( $\mu$ ) mit einem rekursiven Schätzalgorithmus ermittelt wird.
9. Schaltungsanordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Reibwert ( $\mu$ ) mit einem rekursiven Schätzalgorithmus nach der Methode der kleinsten Quadrate (RLS-Verfahren) ermittelt wird.
10. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sie zum Regeln eines Antiblockiersystems (ABS) oder eines Schlupfregelsystems verwendet wird.



FIG 1

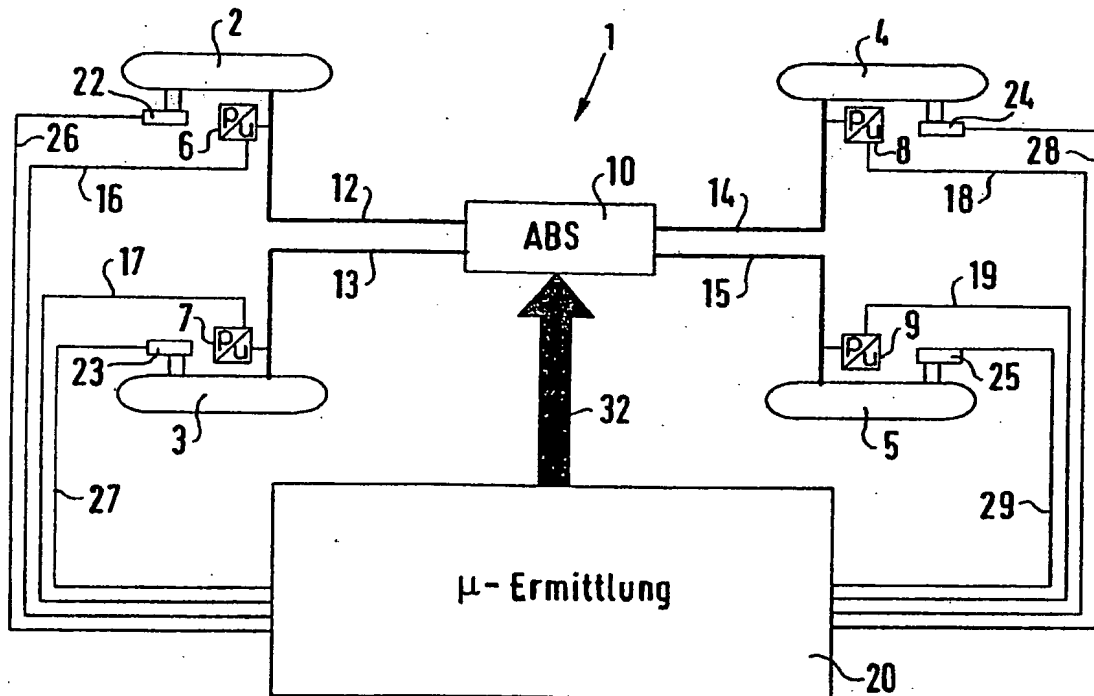


FIG 2

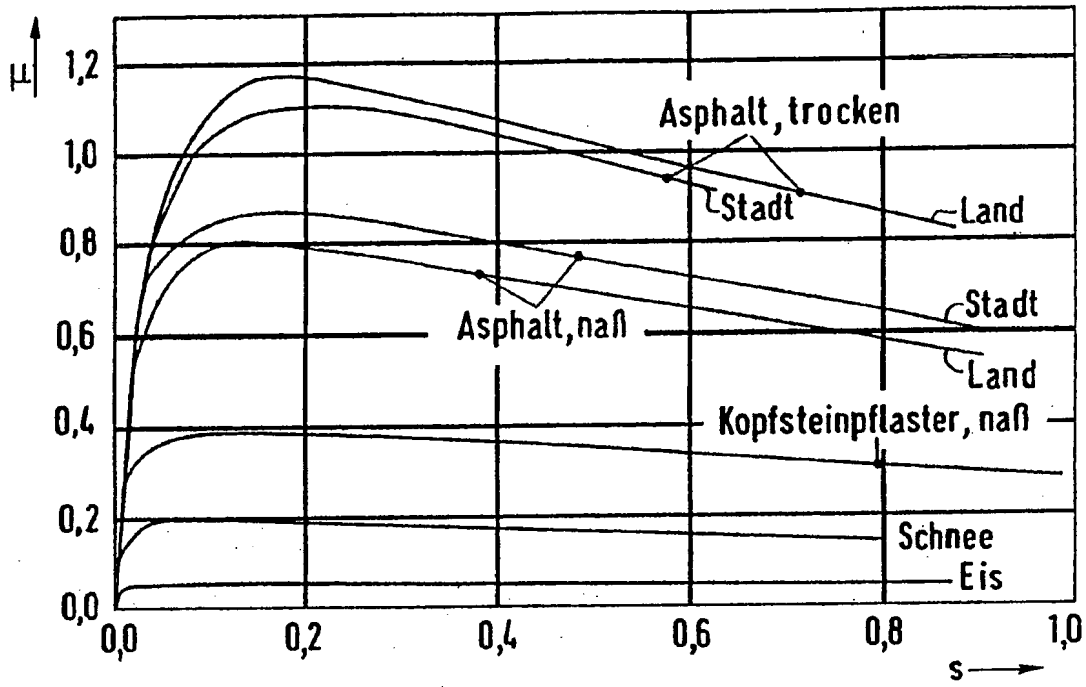
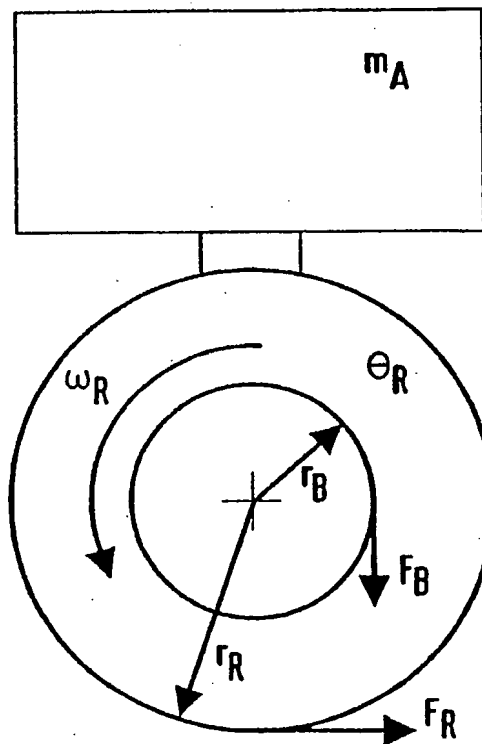
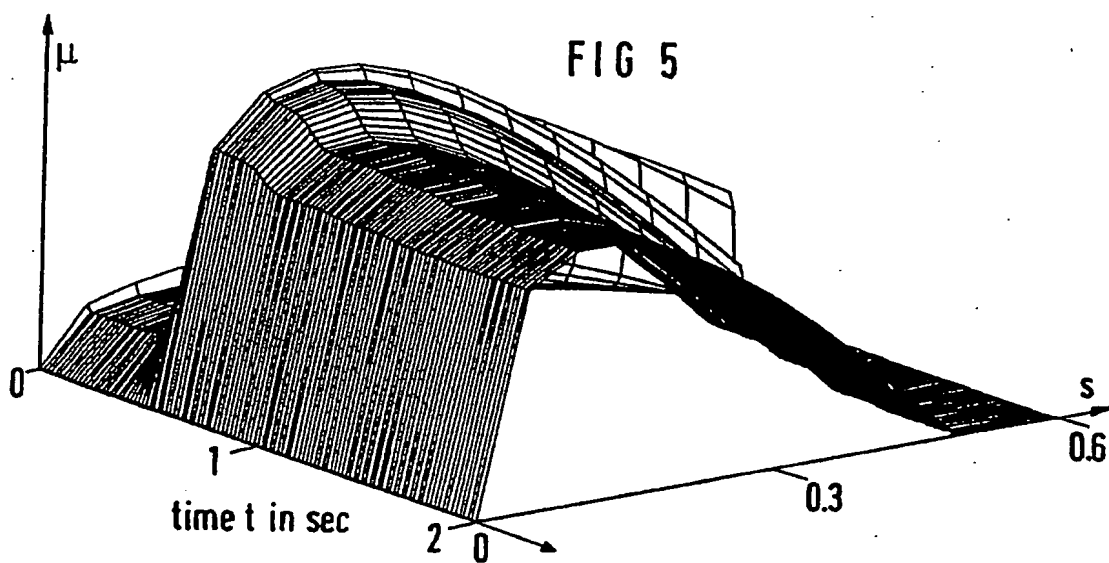
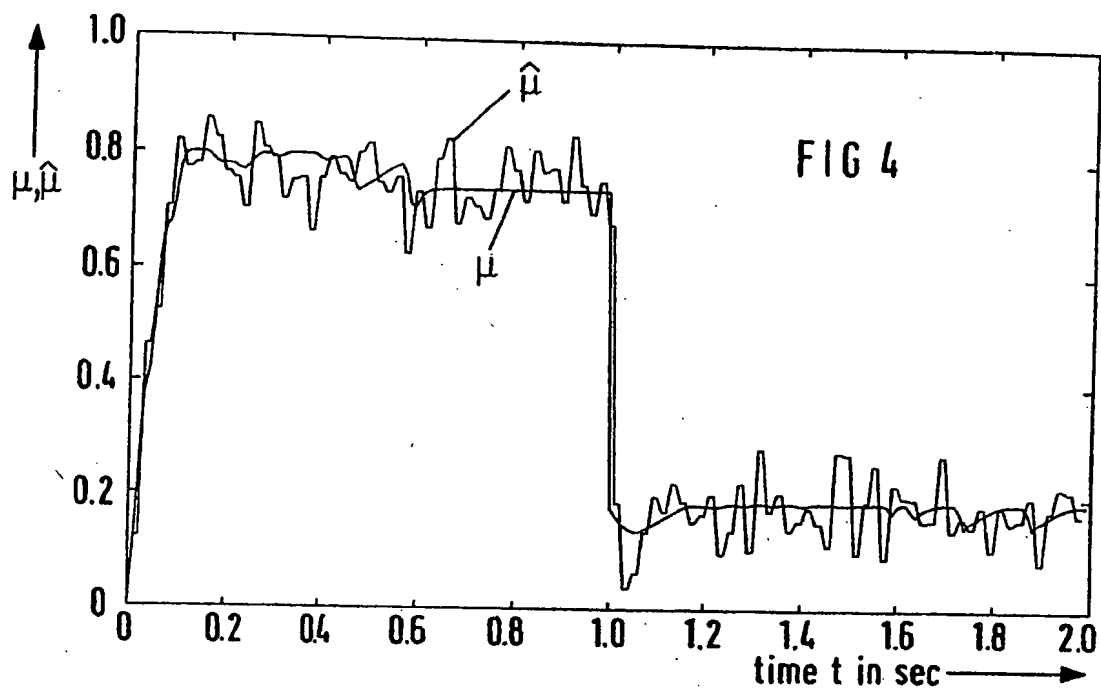


FIG 3







Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 93 10 9953

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.5)
X	RESEARCH DISCLOSURE Bd. 270, Nr. 072, 10. Oktober 1986, HAVANT GB Seiten 633 - 634 ANONYMOUS 'Estimation of Road Surface Coefficient of Friction' * das ganze Dokument *	1,2,4, 7-10	B60T8/00 G01N19/02
A	---	3,5	
A	EP-A-0 219 023 (ROBERT BOSCH GMBH) * das ganze Dokument *	1,2,7-10	
A	---		
A	DE-A-38 33 211 (ROBERT BOSCH GMBH) * das ganze Dokument *	1,2,4, 7-10	
A	---		
A	WO-A-89 03780 (ROBERT BOSCH GMBH) * Seite 2, letzter Absatz - Seite 5, Zeile 6; Abbildung 2 *	1,2,4, 7-10	
	-----		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 22. November 1993	Prüfer KULOZIK, E
<b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b>			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	